

## Научные статьи

УДК 550.834:550.838.2:551.214.6(571.645)

DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-55-11-30

### ПОДВОДНЫЙ ВУЛКАН 8.10 (КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА)

© 2022 Ю.И. Блох<sup>1</sup>, В.И. Бондаренко<sup>2</sup>, А.С. Долгаль<sup>3</sup>, П.Н. Новикова<sup>3</sup>,  
В.В. Петрова<sup>4</sup>, О.В. Пилипенко<sup>5</sup>, В.А. Рашидов<sup>1</sup>, А.А. Трусов<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006;  
e-mail: yuri\_blokh@mail.ru; rashidva@kscnet.ru

<sup>2</sup>Костромской ГУ, Кострома, Россия, 156961

<sup>3</sup>Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия, 614007

<sup>4</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия, 109017

<sup>5</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, 123995

<sup>6</sup>АО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва, Россия, 125373

Поступила в редакцию 02.06.2022 г.; после доработки 20.08.2022 г.; принята к публикации 26.09.2022 г.

С помощью апробированной технологии количественной интерпретации материалов гидромагнитной съемки в комплексе с эхолотным промером, непрерывным сейсмоакустическим профилированием, а также анализом петромагнитных свойств и химического состава драгированных горных пород изучен подводный вулкан 8.10, входящий в Южно-Итурупскую группу подводных вулканов Курильской островной дуги (КОД). Технология позволяет проводить интерпретацию непосредственно по исходным данным, не прибегая к процедуре их предварительного восстановления в узлах регулярной сети. В результате выполненных исследований установлено, что драгированные андезибазальты и андезиты являются представителями разных лавовых потоков, имеющих единый магматический источник, но различающихся по условиям и динамике кристаллизации. Основным носителем естественной остаточной намагниченности андезибазальтов является титаномagnetит с низким содержанием Ti, а андезитов — магнетит. В вулканической постройке выделены подводные каналы и периферические магматические очаги. Подводный вулкан 8.10, как и другие изученные вулканы КОД, образовался в период геомагнитных инверсий. Наличие на вершине вулкана гидроакустических аномалий свидетельствует о том, что проявления подводной газо-гидротермальной деятельности в южной части КОД значительнее, чем считалось до недавнего времени.

*Ключевые слова:* подводный вулкан 8.10, Курильская островная дуга, гидроакустические аномалии.

Курильская островная дуга (КОД) — классическая двойная дуга, состоящая из внутренней (вулканической) и внешней (тектонической) дуг, разделенных междуговым трогом. С юго-востока она сопряжена с Курило-Камчатским глубоководным желобом, а с северо-запада граничит с Курильской котловиной. Охотоморский склон КОД осложнен подводными вулканами.

Первые сведения о подводных вулканах КОД получены 1949–1955 гг. экспедициями Института океанологии (ИО) АН СССР на научно-

исследовательских судах (НИС) «Витязь» и «Крылатка» (Безруков и др., 1958; Затонский и др., 1961), когда были обнаружены и исследованы 47 подводных вулканов и гор. В этих рейсах были выполнены эхолотный промер и единичные станции геологического опробования. В конце 1960-х годов в северной части КОД японскими исследователями выполнены эхолотный промер и гидромагнитная съемка (ГМС) двух подводных вулканов (Yasui et al., 1967, 1968).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ  
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 1970–1980-е гг. сотрудники Сахалинского комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР в ряде экспедиций на НИС «Пегас», «Морской геофизик», «Орлик» и «Витязь-2», изучили вещественный состав 12-ти подводных вулканов КОД (Ерохов и др., 1975; Кичина и др., 1980; Корнев и др., 1982; Остапенко 1976, 1978; Остапенко и др., 1986; Остапенко, Кичина, 1977, 1982; Gnibidenko, 1985; Gnibidenko, Svarichevsky, 1984). Сотрудниками этого института были выполнены батиметрическая съемка пяти и ГМС четырех подводных вулканов (Воробьев, 1977; Воробьев и др., 1975; Остапенко и др., 1986). В это же время единичные публикации по подводным вулканам КОД были изданы сотрудниками ИО АН СССР (Савостин и др., 1978; Savostin et al., 1983).

Планомерное изучение подводного вулканизма КОД было выполнено в 1981–1991 гг. 11-ю комплексными вулканологическими экспедициями в рейсах НИС «Вулканолог» Институтом вулканологии ДВО РАН и Институтом вулканической геологии и геохимии ДВО РАН (Авдейко, Рашидов, 2006; Подводный..., 1992; Рашидов, 2007). К настоящему времени в пределах КОД выделено 126 подводных вулканов и 6 подводных или частично затопленных кальдер и кратеров вулканов (Бондаренко, Рашидов, 2021).

В экспедициях с борта НИС «Вулканолог» на ходу судна выполнялись эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) и ГМС по нерегулярной сети пересекающихся галсов.

В конце XX – начале XXI веков отечественными и зарубежными учеными были получены новые отрывочные данные об отдельных подводных вулканах Охотского моря (Деркачев и др., 2002; Мороз и др., 2011; Пальчик и др., 2009; Тарарин и др., 2000; Varanov et al. 2002; Gaedicke et al., 1997).

Несмотря на длительную историю изучения подводных вулканов КОД, многие из них были исследованы или по редкой сети профилей, или были пересечены лишь одиночными съемочными галсами. Хочется надеяться, что в обозримом будущем подводные вулканы КОД будут изучены с помощью регулярных сетей наблюдений современным цифровым геофизическим оборудованием. В настоящее время путем плодотворной интеграции академических, вузовских и отраслевых ученых авторский коллектив с помощью современных интерпретационных технологий продолжает плодотворное изучение подводных вулканов КОД. Настоящая работа посвящена анализу результатов, полученных по редкой нерегулярной сети геофизических профилей при изучении расположенного в южной части КОД подводного вулкана 8.10.

Подводный вулкан 8.10 (рис. 1), входящий в Южно-Итурупскую группу подводных вулканов КОД (Подводный..., 1982), был обследован в 15-ом, 17-ом, 29-ом и 34-ом рейсах НИС «Вулканолог» в период 1982–1989 гг. по редкой нерегулярной сети геофизических профилей (рис. 2, 3).

Полученные данные были обработаны с помощью апробированной эффективной технологии количественной интерпретации материалов ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП, а также анализом петромагнитных свойств и химического состава драгированных горных пород (Блох и др., 2018, 2019, 2020б, 2021а, 2021б). Эта технология позволяет проводить интерпретацию непосредственно по исходным данным, не прибегая к процедуре их предварительного восстановления в узлах регулярной сети (гридирования). При расчетах всегда используется истинный рельеф вулканических построек, определяемый с помощью данных НСП (рис. 4) и эхолотного промера (рис. 3а).

В результате проведенных исследований было установлено, что изометричный подводный вулкан 8.10 с диаметром плоской вершины ~1800 м и минимальной вершинной отметкой 120 м, а не 144 м, как предполагалось ранее в работе (Подводный..., 1992), отделяется от о. Итуруп глубинами ~1400–1500 м, а его северные и западные склоны опускаются до 1500–1700 м (рис. 1, 2а, 3а). Крутизна склонов вулкана увеличивается от подножья к вершине от 10–15° до 15–20°. Размер основания вулканической постройки — 10×12 км, относительная высота — 2000 м, а объем — приблизительно 60 км<sup>3</sup> (Подводный..., 1992). Плоская вершина вулканической постройки, возможно, свидетельствует о ее доголоценовом возрасте.

На глубине 140 м над северным участком вершины подводного вулкана 09.09.1987 г. в 29 рейсе НИС «Вулканолог» были зафиксированы акустические помехи (рис. 2б), которые, по нашему мнению, вызваны подводной газо-гидротермальной деятельностью (Блох и др., 2020а, 2020в, 2021а, 2021б, 2022а, 2022б). Это, с учетом обобщения, сделанного в работе (Бондаренко, Рашидов, 2021), позволяет говорить о том, что проявления газо-гидротермальной активности в южной части КОД более масштабное, чем предполагалось до недавнего времени.

Судя по данным НСП, вулкан 8.1 сложен преимущественно плотными вулканическими породами. Осадочные отложения в верхней части склонов вулкана не фиксируются (рис. 4). В нижней части постройки отмечается маломощный чехол субпараллельных склонам отложений.

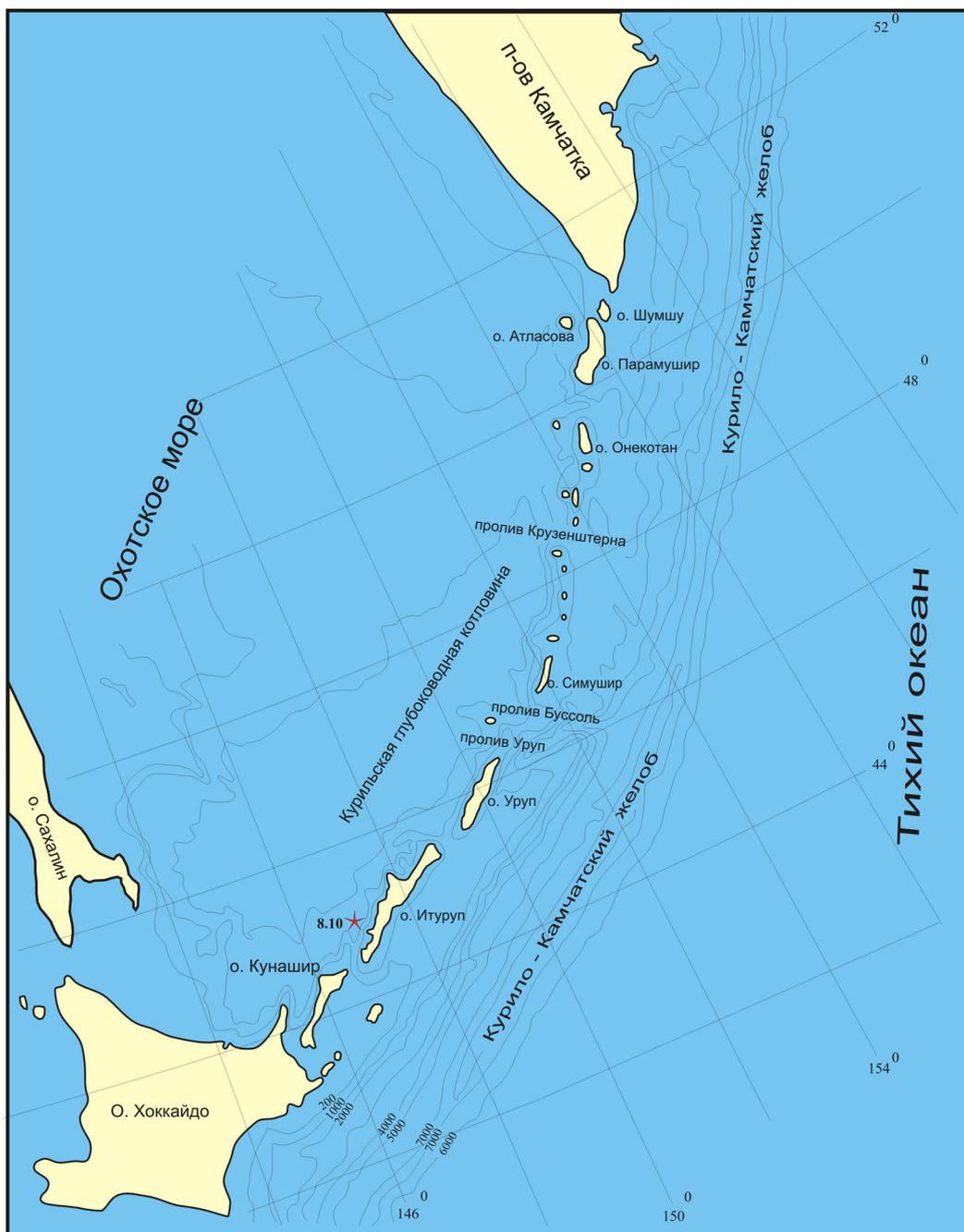


Рис. 1. Местоположение подводного вулкана 8.10.

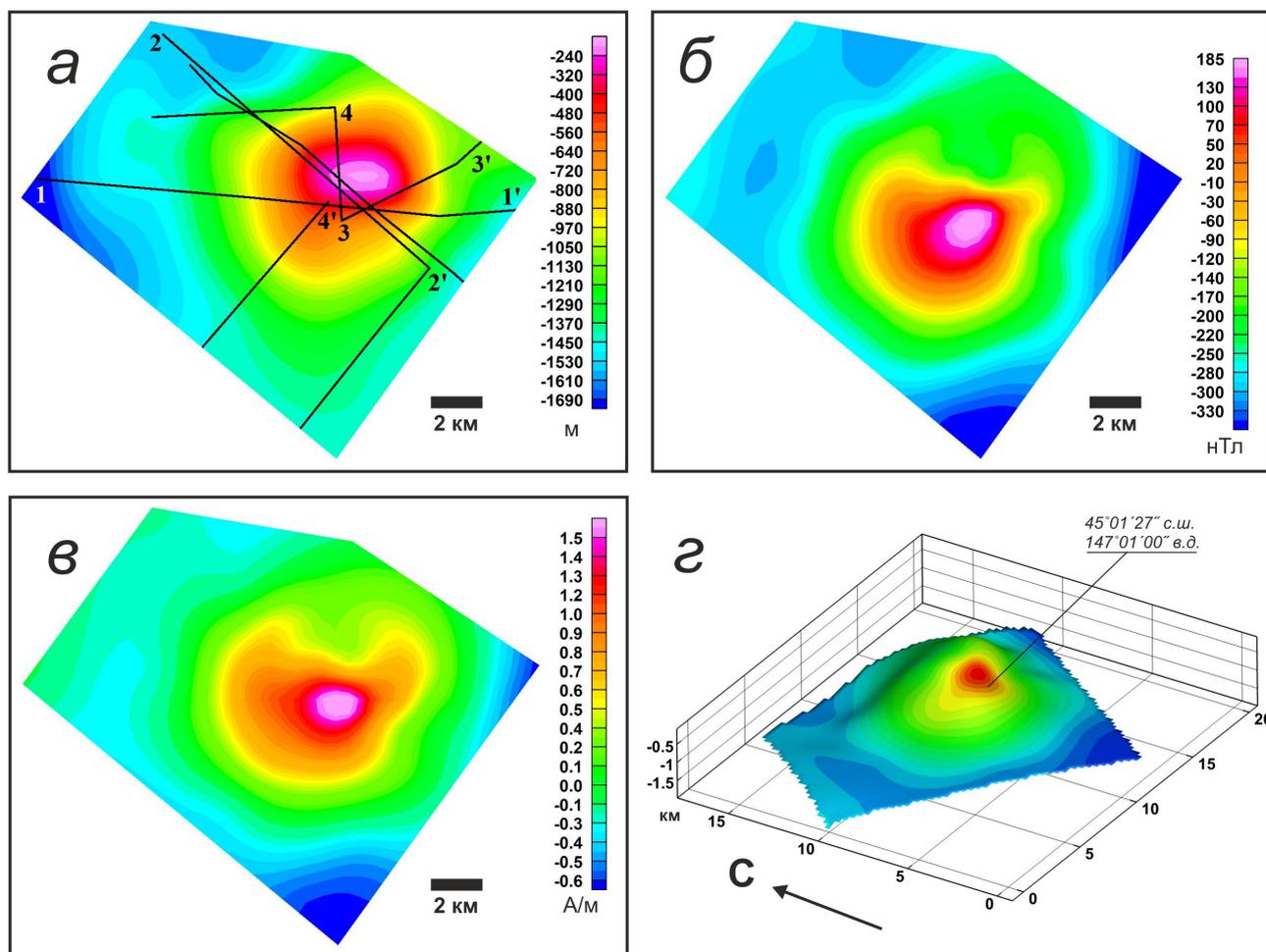
Fig. 1. Location of the submarine volcano 8.10.

Основание вулканической постройки перекрывается с налеганием мощной, до 600–800 м, толщей «акустически мутных» отложений. На сейсмограммах НСП ей соответствует довольно высокий уровень записи некоррелированных или слабо коррелируемых сигналов, многочисленных непротяженных разноориентированных осей синфазности сигнала, на фоне которых выделяются отдельные протяженные субгоризонтальные или слабонаклонные отражающие границы. Следует отметить, что подобные отложения довольно широко распростра-

нены на Охотоморском склоне о. Итуруп. Судя по характеру сейсмоакустического изображения, данная толща может слагаться рыхлыми вулканогенными или вулканогенно-осадочными отложениями, сносимыми с о. Итуруп, накапливающимися в условиях нерегулярного поступления материала. Вулкан 8.10, по-видимому, древнее этих отложений.

Отложения, покрывающие нижние части склонов вулкана на глубинах 1300–1500 м плавно переходят в горизонтально-слоистые осадки самой верхней части осадочного





**Рис. 3.** 3D-моделирование подводного вулкана 8.10. *a* — батиметрия; *б* — аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$ ; *в* — пространственное распределение эффективной намагниченности  $J_{эф}$ ; *г* — пространственное распределение эффективной намагниченности  $J_{эф}$ , изображенное на поверхности вулкана. Цифрами обозначены профили, приведенные на рис. 4 и рис. 9.

**Fig. 3.** 3D modeling of a submarine volcano 8.10. *a* — bathymetry; *б* — anomalous magnetic field  $\Delta T_a$ ; *в* — spatial distribution of effective magnetization  $J_{эф}$ ; *г* — spatial distribution of effective magnetization  $J_{эф}$  depicted on the volcano surface. The numbers denote the profiles shown in Fig. 4 and Fig. 9.

разреза прилегающих склонов о. Итуруп, образуя своеобразный маломощный (до нескольких десятков метров) шлейф вблизи основания. По нашему мнению, формирование этих отложений соответствовало по времени абразии вершины постройки в период поздне-плейстоценового понижения уровня океана.

В 17 рейсе НИС «Вулканолог» было выполнено два драгирования верхней части склонов вулкана 8.10 (рис. 2*a*). При драгировании с глубинного интервала 600–350 м в драге В17-25 подняты остроугольные обломки вулканитов, галька и гравий, а при драгировании с глубинного интервала 400–350 м в драге В17-26, расположенной восточнее драги В17-25, — только остроугольные обломки вулканических пород.

Предыдущие исследования показали, что среди 12 образцов, драгированных горных пород, наиболее распространенными являются биотит-

амфиболовые и клинопироксен-амфиболовые андезиты (Подводный..., 1992). Присутствуют также и андезибазальты в которых по сравнению с андезитами увеличено содержание субфенокристаллов и вкрапленников. Кроме того были опробованы и резкопорфировые базальты. Драгированные породы, в основном, имеют свежий облик, но в некоторых образцах наблюдается лимонитизация и жилки боулингита по вкрапленникам оливина.

Породы относятся к К-Na нормальному ряду высоко калиевой серии. Для них характерны повышенные содержания Th, Rb, Sr, Ba и редкоземельных элементов. Изотопный состав стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  одного из изученных образцов андезита равен 0.70311 (Подводный..., 1992).

Концентрация радиоактивных элементов в лавах подводного вулкана 8.10 составляет

1.9 мкг/г, 5.3 мкг/г и 1.57 мас.%, соответственно для урана, тория и калия, а соотношение  $Th/U = 2.8$  (Пузанков и др., 1991). Во избежание дальнейших недоразумений, необходимо отметить, что в цитируемой работе этот вулкан ошибочно назван вулканом 8.7.

Выполненные нами исследования еще 9 драгированных образцов показали, что в андезитах, по сравнению с андезибазальтами, наблюдается большее содержание Ва и Nb, отдельные образцы андезитов обогащены Sr, U, Zn. В андезибазальтах выше содержание Co, Cr, Ni, Sc, V (табл. 1).

Основная масса андезитов и андезибазальтов тонкозернистая, структура толеитовая (с небольшим количеством нераскристаллизованного стекла) до спутано-волоконистой. Минеральный состав — плагиоклаз, амфибол, пироксен, магнетит, небольшое количество стекла, редкий анальцим (рис. 5, 6).

По минеральному и химическому составу драгированные образцы В17-25/2 (рис. 6а, 6б), В17-25/9 (рис. 5а, 5б), В17-25/10, В17-25/11 и В17-26/2 отвечают пироксен-роговообманково-плагиоклазовым андезитам с магнетитом (титаномангнетитом?), в которых количество  $SiO_2$  колеблется от 60% до 64% (табл. 1).

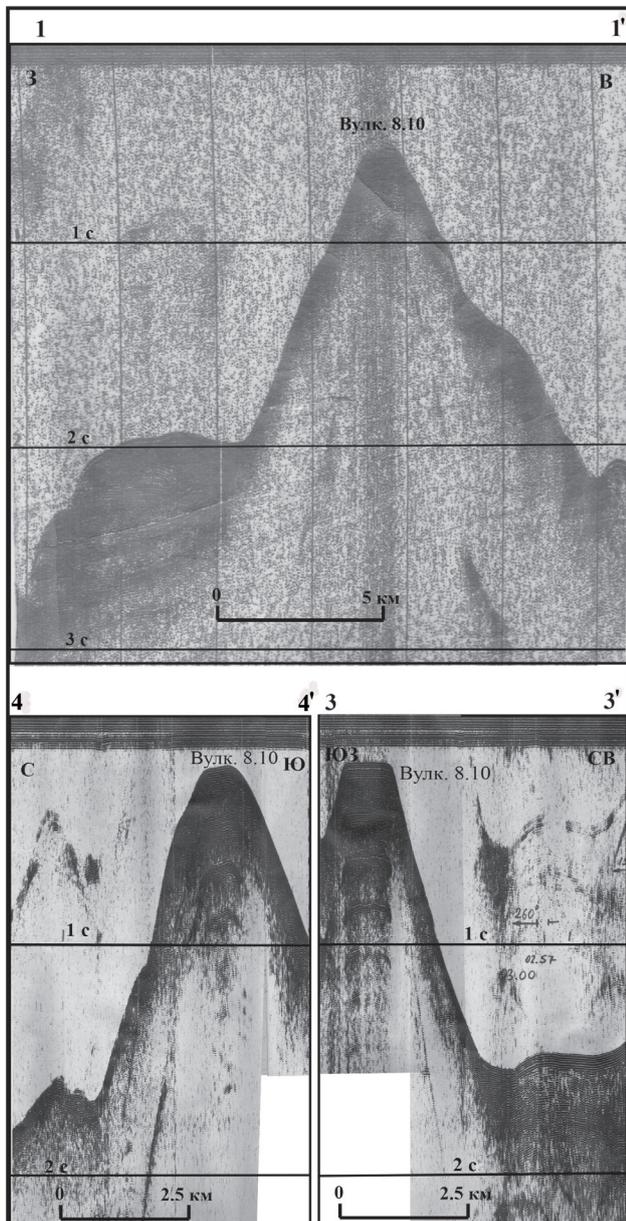
Структура породы порфировая, количество вкрапленников по отношению к основной массе варьирует от 1/4 до 1/7. Размер вкрапленников от 0.2 до 1 мм. Встречаются более крупные сростки кристаллов (до 2 мм), особенно плагиоклаза, а также захваченные ксенолиты роговообманкового андезита с более крупнокристаллической и более раскристаллизованной основной массой.

В разных образцах количество вкрапленников варьирует: плагиоклаз — 40–50%, амфибол — 30–40%, магнетит — 5–15%, пироксен — около 5%. Присутствуют незаполненные свободные пространства.

Плагиоклаз может достигать размера 2 мм но редко, чаще таких размеров его сростки. По составу — конечные номера андезина и начальные лабрадора. Плагиоклаз зонален, присутствуют три-четыре и более зоны. Всегда отмечается внешняя тонкая неизменная оторочка, вероятно альбита. В центральных частях плагиоклаза много газовых пузырей, есть включения измененного и не измененного стекла. Амфибол — свежие иглы размером от 0.2 до 1 (но чаще 0.3–0.5) мм, реже в рудных оторочках. Иногда сростки с пироксеном и плагиоклазом. Выделялся амфибол позже плагиоклаза, примерно одновременно с пироксеном. Пироксен размером от 0.2 до 0.5 мм представлен хорошо образованными кристаллами иногда зональными. Магнетит — плохо оформленные выделения (одиночные кристаллы или их сростки) размером до 0.5 мм.

Основная масса тонкозернистая (первый десяток микрона) состоит в основном из пластинок плагиоклаза, игл амфибола и кубиков магнетита. Иногда наблюдается слабая ориентировка игольчатых микролитов. Пироксен предполагается, но не явно выражен. Амфибол придает основной массе спутано-волоконистый вид. В небольшом количестве в основной массе присутствует анальцим, определенный по низкому показателю преломления.

Образцы В17-26/4 (рис. 5в, 5г; 6в), В17-26/5 и В17-26/8 (рис. 6з) с содержанием  $SiO_2$  от 53.74



**Рис. 4.** Фрагменты профилей НСП через подводный вулкан 8.10. Положение профилей представлено на рис. 3а.

**Fig. 4.** Fragments of the CSP profiles through the submarine volcano 8.10. The position of the profiles is shown in Fig. 3a.

Таблица 1. Силикатный (масс. %) и редкоземельный (ppm) составы пород подводного вулкана 8.10  
 Table 1. Silicate (wt %) and rare-element (ppm) compositions of rocks composing the submarine volcano 8.10

Обр. №	В17-26/5	В17-26/4	В17-26/8	В17-26/2	В17-25/12	В17-25/11	В17-25/9	В17-25/10	В17-25/14
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Содержание в масс. %									
SiO <sub>2</sub>	53.74	53.97	56.16	60.43	60.99	61.39	62.75	63.88	66.22
TiO <sub>2</sub>	0.79	0.76	0.71	0.53	0.37	0.50	0.40	0.38	0.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.76	17.85	17.51	16.63	15.84	16.56	16.34	16.17	15.17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.01	5.50	4.33	4.35	5.59	3.93	3.56	3.88	1.92
FeO	4.17	3.77	3.81	2.28	1.93	2.46	2.22	1.55	1.93
MnO	0.23	0.23	0.23	0.39	0.19	0.16	0.17	0.16	0.09
MgO	2.61	2.48	2.35	1.52	1.30	1.48	1.58	1.23	1.55
CaO	8.77	8.54	7.99	6.95	5.43	6.35	5.88	5.52	3.95
Na <sub>2</sub> O	3.15	3.22	3.48	3.48	3.42	3.55	3.56	3.41	3.42
K <sub>2</sub> O	2.31	2.35	2.34	2.83	3.17	2.70	2.59	2.94	4.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.25	0.23	0.28	0.35	0.26	0.24	0.22	0.15
ппп	0.74	0.68	0.42	0.08	1.20	0.40	0.46	0.50	0.46
Сумма	99.53	99.58	99.58	99.75	99.78	99.73	99.76	99.83	99.79
Содержание в ppm									
As	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	10.5	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Ba	859	864	873	1034	1280	1033	1099	1200	896
Co	20	21	23	14	<5.0	10	8.8	<5.0	11
Cr	28	38	26	13	15	7.8	14	6.7	15
Cu	32	25	49	41	6.6	12	12	8.6	13
Ga	20	18	20	20	19	19	19	18	16
Mo	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.4
Nb	<2.0	<2.0	<2.0	2.7	2.8	2.5	3.2	2.9	8.4
Ni	14	15	12	9	4.7	6.7	8	7.1	11
Pb	11	7.9	7.7	11	8.2	7.5	8.1	7.3	20
Rb	56	58	54	77	96	78	73	85	107

Таблица 1. Окончание  
Table 1. Continued

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	<100	<100	257	167	142	150	140	135	<100
Sc	23	25	22	16	10	11	11	9.1	14
Sr	724	720	716	815	683	789	650	648	363
Th	7.0	7.1	8.0	9.6	8.5	10.4	9.0	9.3	10.4
U	<2.0	<2.0	<2.0	2.1	7.6	2.6	<2.0	<2.0	2.6
V	215	206	199	111	65	108	75	60	64
Y	23	23	23	24	22	23	22	22	20
Zn	83	74	65	73	110	68	46	44	273
Zr	100	102	100	131	126	136	119	125	197

Примечание. Анализы выполнены в химической лаборатории Геологического института РАН методом рентгенофазового анализа (зав. лабораторией С.М. Ляпунов).

Note. The analyzes were carried out in the Chemical Laboratory of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences by X-ray phase method (head of the Laboratory S.M. Lyapunov).

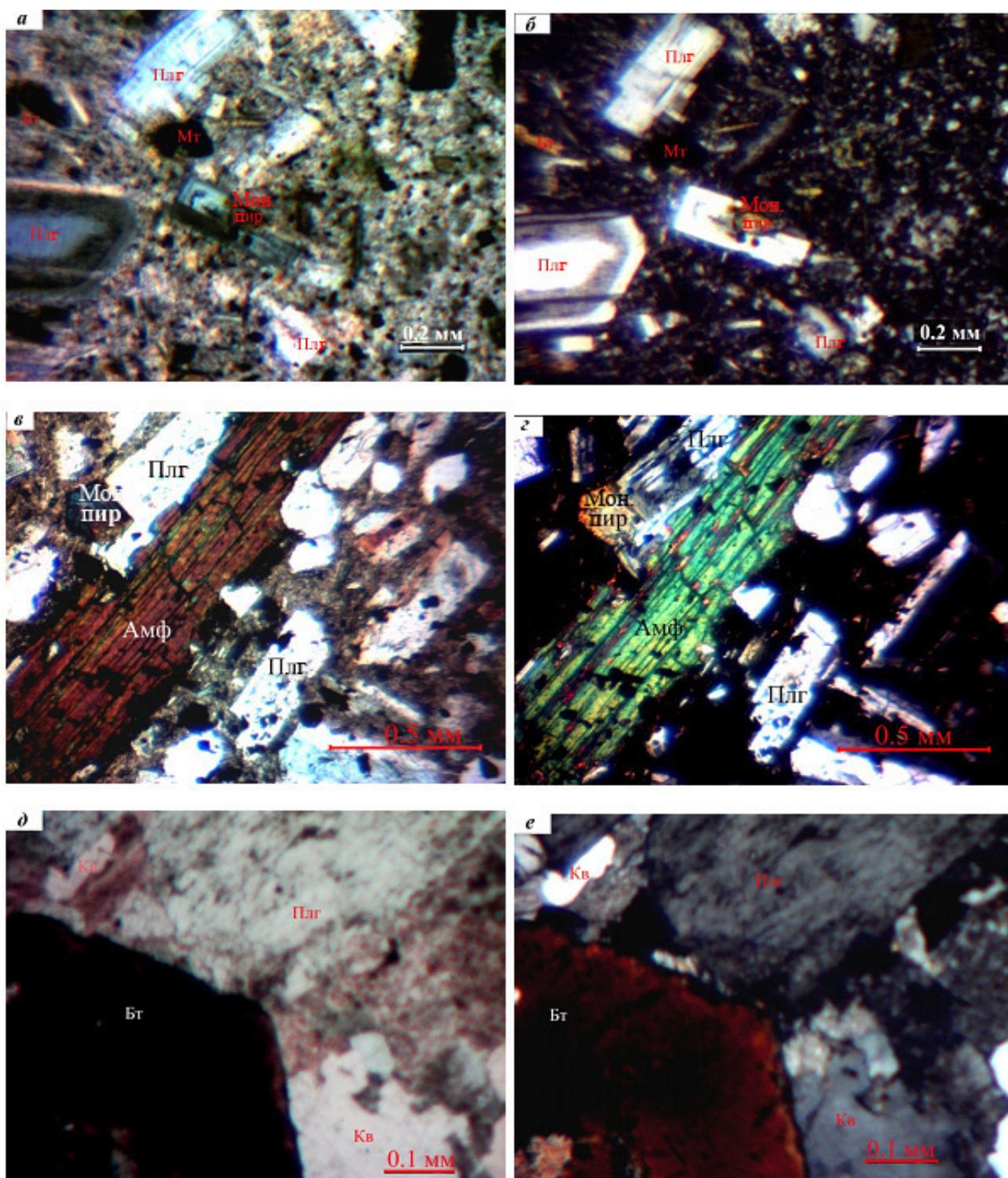
БЛОХ и др.

до 56.16 являются порфировыми пироксен-роговообманково-плагиоклазовыми андезибазальтами с магнетитом. Отношение вкрапленники/основная от 1:2 до 1:3. Содержание плагиоклаза — 50–60%, роговой обманки — 30–35%, магнетита — 4–6%, пироксена — 4–6%, встречаются единичные кристаллы биотита. Пироксен и магнетит (иногда и другие вкрапленники) распределены неравномерно.

Помимо небольшой разницы в химическом составе андезибазальты несколько отличаются от андезитов по минеральному составу. Они содержат больше вкрапленников по отношению к основной массе, немного больше плагиоклаза и амфибола, но меньше пироксена. При этом разброс размеров вкрапленников в андезибазальтах шире, чем в андезитах. Отмечаются редкие ксенолиты первичных пород в частности пироксенитов.

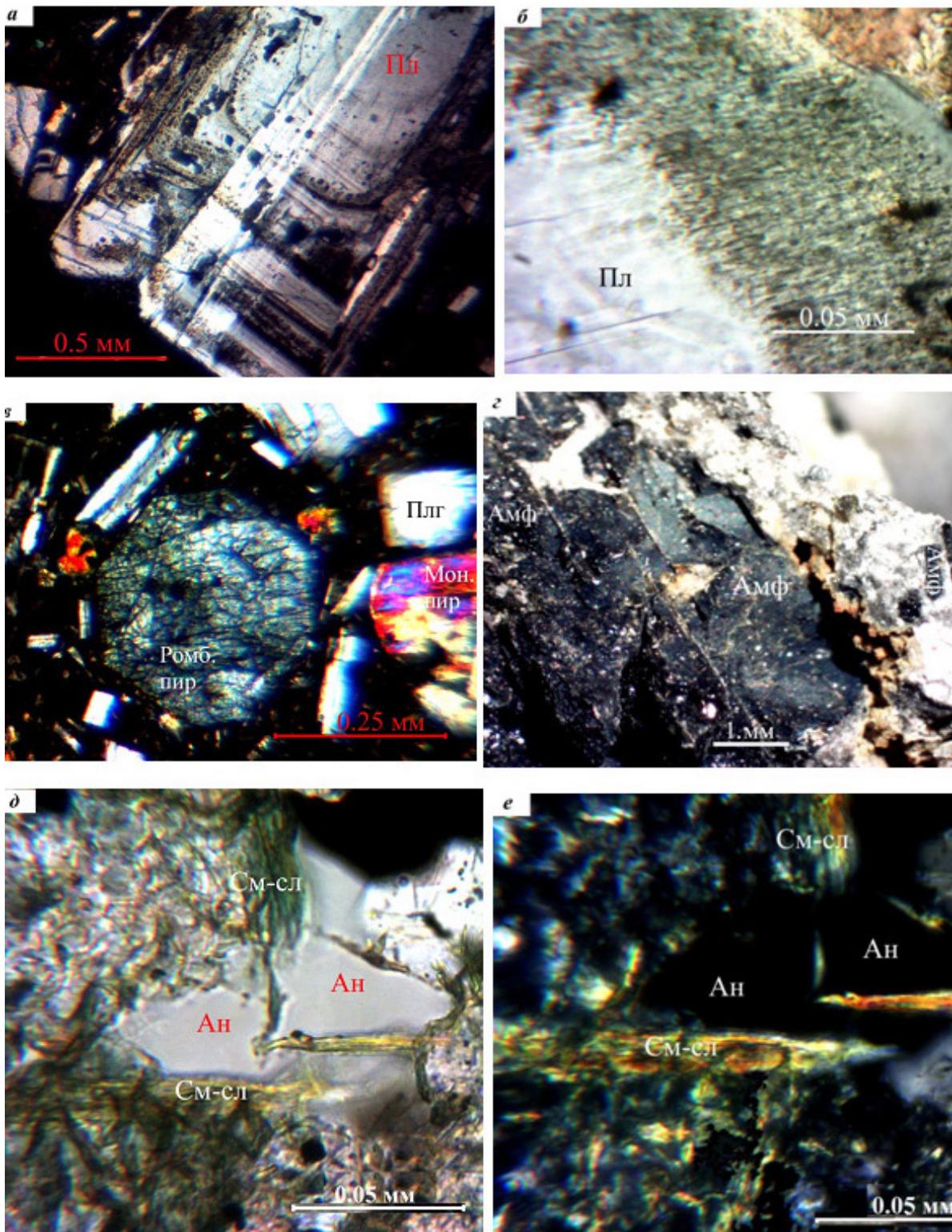
Максимальный размер вкрапленников плагиоклаза до 6 мм, но это большая редкость. Средний размер 0.5–1 мм, но есть и крупнее, и мельче. Плагиоклаз зональный, сдвойникованный, разбит трещинами. По зонам роста часты газовой-жидкие включения, возможно измененное стекло рудная пыль. Встречаются включения апатита в кристаллы плагиоклаза. Амфибол — удлиненные сдвойникованные кристаллы с сильным плеохроизмом в коричнево-зеленых тонах. Размер кристаллов от 0.2 до 1.5 мм, наиболее распространены 0.5–1 мм. По контуру кристаллов иногда рудные оторочки. При визуальном осмотре образца В17-26/8 встречен вкрапленник амфибола размером около 2×3 см (рис. 6з). Пироксен — отдельные некрупные до 0.2–0.5 мм кристаллы, часто в сростках с рудным и окруженные рудными оторочками. Титаномагнетит представлен кристаллами и округлыми выделениями размером до 0.5 мм. Отмечены редкие свободные пространства и трещинки, заполненные зернистым рудным и иногда хлоритоподобным веществом. Отмечено много рудной пыли. Структура основной массы от толеитовой (с небольшим количеством не раскристаллизованного стекла) до спутанно-волоконистой, изредка наблюдается слабая ориентировка микролитов плагиоклаза. В основной массе мало пироксена, но больше игольчатого амфибола. Местами структура похожа на микропойкилитовую, т.е. микролиты плагиоклаза местами сцементированы мезостадисом (стекла, кварца, анальцима?). В основной массе много рудной пыли.

Драгированные андезиты и андезибазальты, по всей видимости, являются представителями разных лавовых потоков, которые имеют единый магматический источник, но различаются по условиям и динамике кристаллизации.



**Рис. 5.** Структуры и номенклатура драгированных пород. Фото шлифов (оптический микроскоп): *а, в, д* — съемка без анализатора, *б, з, е* — тоже, с анализатором. *а, б* — андезит пироксен-роговообманково-плагиоклазовый, образец В17-25/9; *в, з* — андезибазальт пироксен-роговообманково-плагиоклазовый с оливином, образец В17-26/4; *д, е* — диорит, пироксен-роговообманково-плагиоклазовый с кварцем, магнетитом и биотитом, образец В17-25/14. Амф — амфибол, Бт — биотит, Кв — кварц, Мт — магнетит, Плг — плагиоклаз, Мон. пир — моноклинный пироксен.

**Fig. 5.** Structures and nomenclature of dredged rocks. Photos of thin sections (optical microscope): *a, v, d* — photo without the analyzer, *б, з, е* — also, with the analyzer. *а, б* — pyroxene-hornblende-plagioclase andesite, sample V17-25/9; *в, з* — pyroxene-hornblende-plagioclase andesite basalts with olivine, sample B17-26/4; *д, е* — pyroxene-hornblende-plagioclase diorite with quartz, magnetite, and biotite, sample B17-25/14. Амф — amphibole, Бт — biotite, Кв — quartz, Мт — magnetite, Плг — plagioclase, Мон. пир — monoclinic pyroxene.



**Рис. 6.** Минеральный состав драгированных пород. Фото шлифов и штуфа (оптический микроскоп): *a* — зональный вкрапленник плагиоклаза в андезите, образец В17-25/2, с анализатором; *б* — зональный вкрапленник плагиоклаза, образец В17-25/9, центр кристалла — начальный лабрадор, далее зона насыщенная газовой-жидкими и стекловатыми включениями и внешняя альбитовая оторочка, без анализатора; *в* — участок андезибазальта с вкрапленниками плагиоклаза, моноклинного и ромбического пироксенов, образец В17-26/4, с анализатором; *г* — фрагмент крупного кристалла амфибола в пироксен-роговообманково-плагиоклазовом андезибазальте, образец В17-26/8, фото штуфа под бинокулярным микроскопом; *д, е* — анальцим и смешанослойный смектит-слюда в андезите, образец В17-25/2, *д* — без анализатора, *е* — с анализатором. Ан — анальцим, См-сл — смешанослойный смектит-слюда, Ромб. пир — ромбический пироксен. Остальные обозначения представлены на рис. 5.

Образец В17-25/14 (рис. 5*д*, 5*е*) представляет собой кварцевосодержащий диорит ( $\text{SiO}_2 \sim 66\%$ ) полнокристаллический пироксен-роговообманково-плагиоклазовый с магнетитом, биотитом и кварцем. Свободных пространств нет. Плагиоклаз имеет несколько генераций. Наиболее ранний полностью изменен, покрыт агрегатом, похожим на сосюрит и состоящим из тончайшей смеси рудного минерала и пироксена, сквозь который проглядывает тело первичного плагиоклаза. Местами создается впечатление, что такой комплекс (или полностью разрушенный плагиоклаз) заполняет интерстиции между более поздними и более ранними кристаллами, образующими породу. Иногда замещающий комплекс укрупняется и замещает плагиоклаз по зонам роста. Зональный плагиоклаз только первичный и он редок, краевые зоны чистые и более кислого состава.

Более поздний плагиоклаз менее изменен и обычно сильно сдвойникован. Угол симметричного погасания  $13-14^\circ$ , т.е. андезин 30-х номеров. Размер плагиоклаза до 2 мм. Его количество около 50%. Роговой обманки около 30%, Кварц около 10%, биотит и рудный минерал по 5%. По времени выделения идут плагиоклаз, роговая обманка, пироксен и магнетит. Роговая обманка светлая, но бывает полностью замещена темной слюдой. Собственно кристаллы слюды редки. Магнетит разбросан по всему шлифу. Его размеры 1 мм и меньше. Сrostки с роговой обманкой и пироксеном. Роговая обманка часто разрушена, замещена слюдой. Размер  $\leq 2$  мм.

Пироксен довольно свежий, имеются сrostки с магнетитом. Кварц из минералов выделяется самым поздним, неоформленный или округлый без кристаллических очертаний, чистый.

Структура породы промежуточная между гипидиоморфнозернистой и диабазовой.

Присутствие диорита среди драгированных образцов, вероятно, показывает, что вулканическая постройка помимо лавовых потоков включает в себя и дайковые (или силловые) тела или же здесь имеет место ледовый разнос, как уже отмечалось в работе (Подводный..., 1982).

Крупнопорфировая структура лав, присутствие гломеропорфировых вкрапленников, тонкокристаллическая структура основной массы и отсутствие переходных размеров между

микролитами и вкрапленниками, позволяет предполагать достаточно долгое нахождение магматического материала в очаговой зоне и в пределах подводных каналов. Об этом же свидетельствует и зональное строение вкрапленников, особенно плагиоклазов, в которых наблюдается несколько зон роста. При этом предпоследние зоны, как правило, насыщены газом-жидкими включениями, а последние — чистые и имеют значительно более кислый состав. Это свидетельствует о том, что при медленном продвижении магматической колонны условия минералообразования не только прерывисто менялись, но и на предпоследнем этапе формирования вкрапленников наблюдалась высокая паро-газовая насыщенность расплава. Четкие очертания вкрапленников и резкая граница их с основной массой показывают, что основная масса кристаллизовалась после или почти одновременно с последней по времени, относительно низкотемпературной, альбитовой оторочкой плагиоклаза. Анальцитом и слюдистый минерал (возможно оксисмектит), а так же оторочки гидрооксидов железа вокруг амфиболов и боулингита (по оливину базальтов) могли образоваться при температуре не выше  $900^\circ\text{C}$ , т.е. в приповерхностных зонах. Более низкотемпературные типично гидротермальные минералы нами не обнаружены.

Выполненные петромагнитные исследования показали, что значения естественной остаточной намагниченности  $J_n$ , изменяющиеся в диапазоне 0.62–4.83 А/м (табл. 2), обусловлены большим содержанием (магнитная восприимчивость изменяется от  $21.93 \times 10^{-3}$  до  $63.21 \times 10^{-3}$  ед. СИ, объемная концентрация  $C = 0.66-1.52\%$ ) низкокоэрцитивных магнитных минералов ( $V_{\text{сг}} = 17.0-25.7$  мТл,  $V_{0.5} = 3.6-21.0$  мТл) многодоменной и псевдооднородной структуры. Степень анизотропии  $P'$  в образцах изменяется в интервале 1.009–1.087. При этом андезибазальты более магнитны, чем андезиты.

Терромагнитный анализ (ТМА) по зависимости магнитного момента насыщения от температуры  $M_s(T)$  образцов В17-25/9, В17-25/10, В17-25/11, В17-25/12, В17-25/14 (рис. 7) показал, что на кривых первого и второго нагревов присутствует единственная температура блокирования, близкая к точке Кюри магнетита  $560-580^\circ\text{C}$ .

**Fig. 6.** Mineral composition of dredged rocks. Photo of thin sections and specimens (optical microscope): *a* — zonal plagioclase phenocryst in andesite, sample В17-25/2, with an analyzer; *б* — zonal plagioclase phenocryst, sample В17-25/9, the crystal center is initial labrador, then the zone saturated with gas-liquid and glassy inclusions and external albite rim, without analyzer; *в* — section of andesibasalt with phenocrysts of plagioclase, monoclinic and rhombic pyroxenes, sample В17-26/4, with an analyzer; *г* — a fragment of a large crystal of amphibole in pyroxene-hornblende-plagioclase andesibasalt, sample В17-26/8, photo of the sample under a binocular microscope; *д*, *е* — analcime and mixed smectite-mica in andesite, sample В17-25/2; *д* — without analyzer; *е* — with analyzer. Ан — analcime, См-сл — mixed-layer smectite-mica, Ромб. пир — rhombic pyroxene. The other designations are presented in Fig. 5.

Таблица 2. Петромагнитные характеристики драгированных образцов горных пород, слагающих подводные вулкан 8.10  
 Table 2. Petro-magnetic characteristics of dredged rock composing submarine volcano 8.10

№ образца	Jn, А/м	$\alpha$ , $10^{-3}$ СИ	Qn	P'	$B_{0.5}$ , мТл	Mrs, $\mu A^*m^2$	Ms, $\mu A^*m^2$	Mrs/Ms	Всг, мТл	Вс, мТл	Всг/Вс	Структура	C, %
B17-25/9-1	1.71	30.93	1.39	1.040	3.6	3.21	148.40	0.02	21.82	2.71	8.05	MD	
B17-25/9-2	1.47	31.23	1.18	1.029									0.81
B17-25/10-1	0.78	25.03	0.78	1.031	19.4	2.51	120.80	0.02	17.00	2.37	7.18	MD	
B17-25/10-2	1.00	25.21	1.00	1.026									0.66
B17-25/11-1	0.81	37.93	0.54	1.043	21.0	16.24	435.40	0.04	19.88	3.80	5.23	MD	
B17-25/11-2	3.00	36.45	2.07	1.044									0.88
B17-25/12-1	0.75	22.15	0.85	1.043	3.7	3.97	183.70	0.02	22.71	2.71	8.37	MD	
B17-25/12-2	0.75	22.53	0.84	1.045									0.63
B17-25/14-1	0.62	21.93	0.71	1.087	7.3	3.18	186.80	0.02	24.94	2.28	10.94	MD	
B17-25/14-2	1.32	31.66	1.05	1.066									0.85
B17-26/2-1	1.99	35.00	1.43	1.049	6.7	7.34	226.70	0.03	19.54	3.40	5.74	MD	
B17-26/2-2	2.72	37.88	1.80	1.049									0.90
B17-26/4-1	1.64	37.67	1.09	1.011	5.0	23.84	464.70	0.05	23.10	4.99	4.63	MD	
B17-26/4-2	2.46	37.30	1.66	1.014									0.91
B17-26/5-1	2.66	35.81	1.87	1.009	4.8	15.69	265.30	0.06	20.16	5.71	3.53	PSD	
B17-26/5-2	4.83	63.21	1.92	1.016									1.52
B17-26/8-1	3.90	46.30	2.12	1.047	8.7	14.26	309.30	0.05	25.70	4.32	5.95	MD	
B17-26/8-2	2.86	47.82	1.50	1.039									1.07

Примечание. Jn — естественная остаточная намагниченность;  $\alpha$  — магнитная восприимчивость; Qn — фактор Кенигсбергера, P' — степень анизотропии магнитной восприимчивости; Всг — остаточная коэрцитивная сила; Вс — коэрцитивная сила;  $B_{0.5}$  — медианное поле; Mrs — остаточный магнитный момент насыщения; Ms — магнитный момент насыщения; PSD — псевдооднородные зерна; MD — многодоменные зерна, C — объемная концентрация ферромагнетика.

Note. Jn — natural residual magnetization;  $\alpha$  — magnetic susceptibility; Qn — Koenigsberger ratio; P' — degree of anisotropy of magnetic susceptibility; Всг — residual coercive force; Вс — residual coercive force;  $B_{0.5}$  — median field; Mrs — residual magnetic saturation moment; Ms — magnetic saturation moment; PSD — pseudo single-domain grains; MD — multi-domain grains; C — volume concentration of ferromagnetic material.

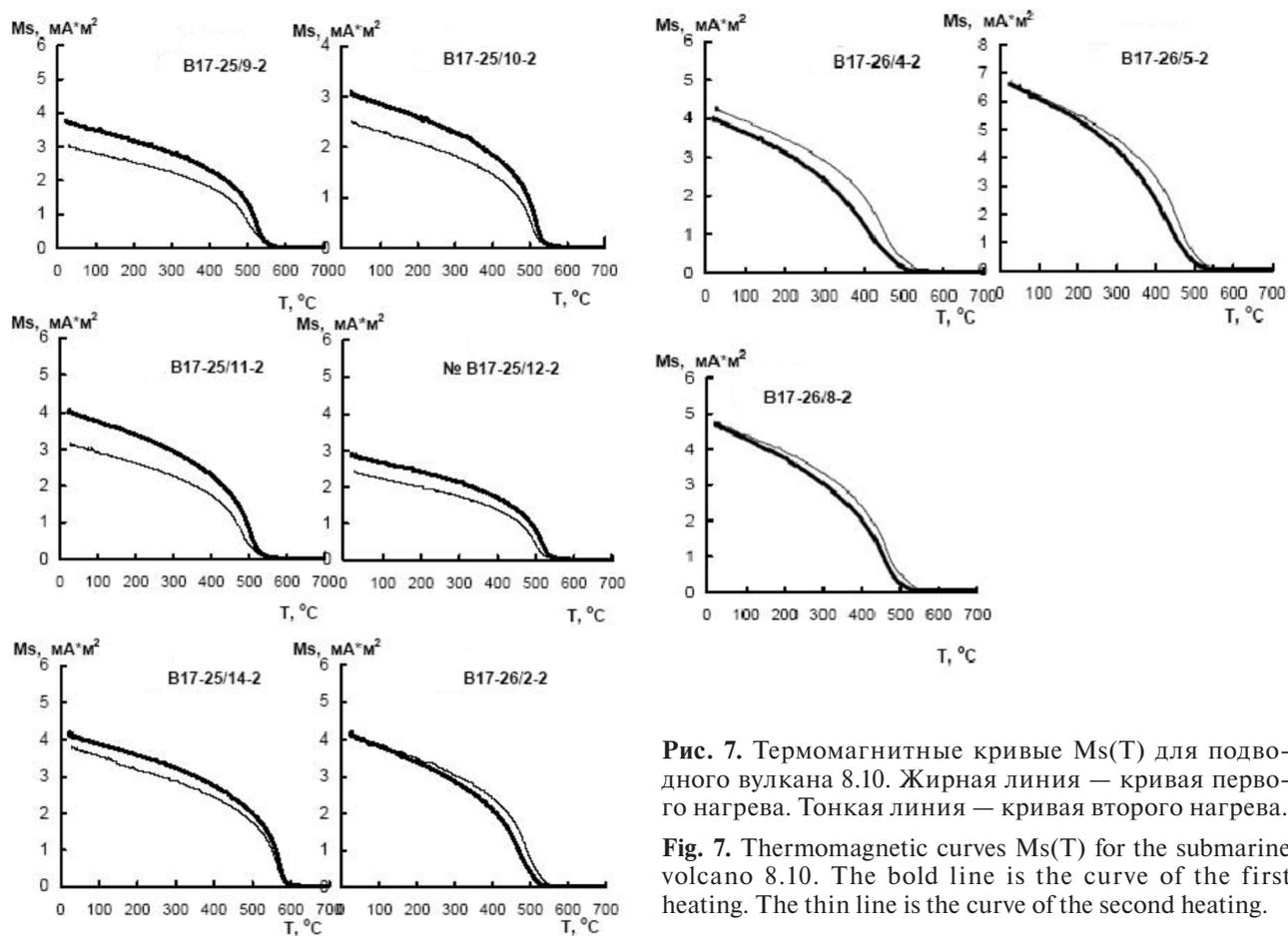


Рис. 7. Термомагнитные кривые  $M_s(T)$  для подводного вулкана 8.10. Жирная линия — кривая первого нагрева. Тонкая линия — кривая второго нагрева.

Fig. 7. Thermomagnetic curves  $M_s(T)$  for the submarine volcano 8.10. The bold line is the curve of the first heating. The thin line is the curve of the second heating.

Кривые второго нагрева идут всегда ниже кривых первого нагрева, повторяя их ход. Такая картина характерна для образования маггемита из магнетита в ходе нагрева.

ТМА образцов B17-26/2, B17-26/4, B17-26/5, B17-26/8 (рис. 7) показал, что на кривой первого нагрева присутствует единственная температура блокирования, лежащая в диапазоне 520–530°C.

Кривые второго нагрева всегда идут несколько выше кривых первого нагрева. Температуры блокирования на кривых второго нагрева смещаются в сторону температуры Кюри магнетита. Таким образом, в данных образцах основным носителем естественной остаточной намагниченности является титаномагнетит с низким содержанием Ti. В ходе нагрева шло гетерофазное разложение титаномагнетита на магнетит и ильменит.

В результате проведенной ГМС установлено, что вершинной части вулкана 8.10 соответствует положительная аномалия магнитного поля  $\Delta T_a$ , а его основание окаймлено отрицательными значениями магнитного поля (рис. 3б). Полный размах аномалии  $\Delta T_a$ , приуроченной к подводному вулкану, достигает 450 нТл.

3D-моделирование вулканической постройки с помощью пакета программ структурной интерпретации гравитационных и магнитных

аномалий СИГМА-3D (Бабаянц и др., 2004) позволило построить петромагнитную модель поверхности вулкана. Среднеквадратическая погрешность подбора за 72 итерации составила 25 нТл. Наибольшая эффективная намагниченность  $J_{\text{эф}}$ , достигающая 1.6 А/м, наблюдается в привершинной части модели (рис. 3в, 3з) и ее величина хорошо согласуется с результатами петромагнитных исследований (табл. 2).

С помощью программы ИГЛА (Блох, Трусков, 2007) установлено, что вектор эффективной намагниченности горных пород  $J_{\text{эф}}$  имеет склонение 52° и наклонение 26° и развернут относительно нормального магнитного поля Земли  $T_0$  на 54° (рис. 8), что свидетельствует о приуроченности времени образования подводного вулкана 8.10, как и других изученных вулканов КОД (Блох и др., 2018, 2019, 2020б, 2021а, 2021б, 2015), к периоду геомагнитных инверсий.

Для уточнения глубинного строения подводного вулкана 8.10 был проведен анализ особых точек функций, описывающих аномальные геомагнитные поля, с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 1993). В результате установлена приуроченность основных особенностей функций, описывающих аномальные поля, к верхней кромке вулканических пород, и сделано предположение о наличии подводящих

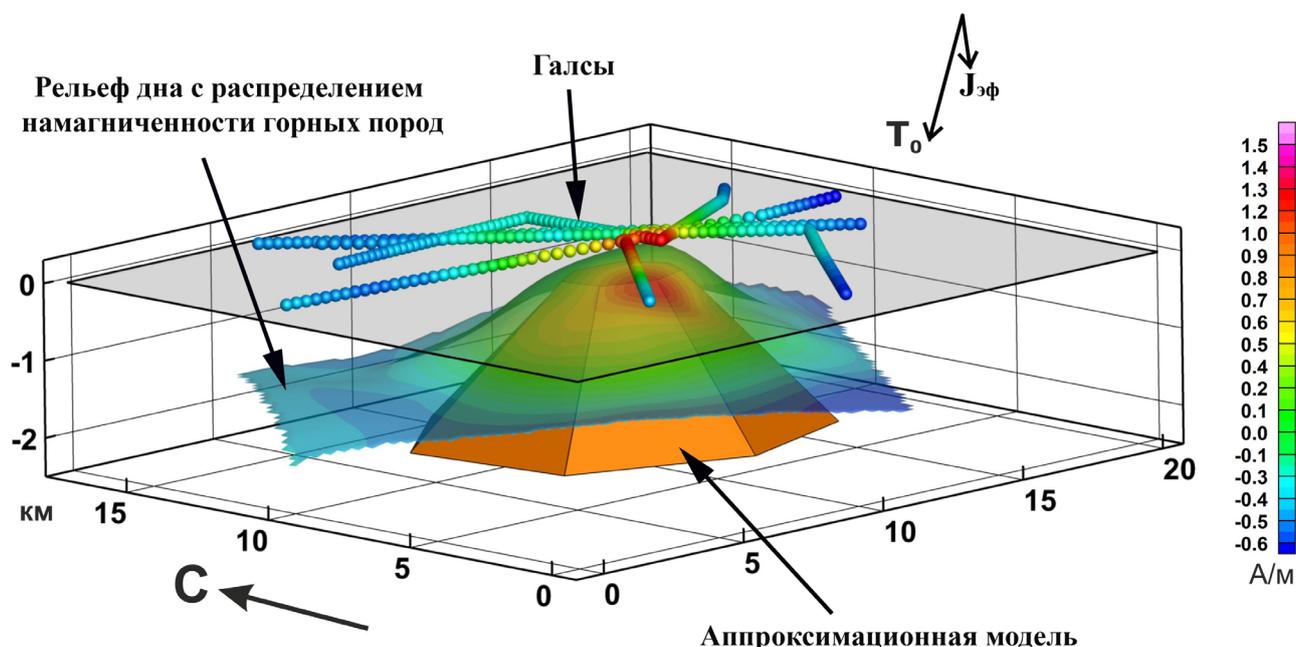


Рис. 8. Уточнение направления вектора эффективной намагниченности  $J_{эф}$  подводного вулкана 8.10 с помощью программы ИГЛА.

Fig. 8. Refinement of the direction of the vector of effective magnetization  $J_{эф}$  of the submarine volcano 8.10 using the IGLA program

каналов север-северо-западного направления и периферических магматических очагов на глубинах 2.4 км и 3.6 км (рис. 9).

Томографический анализ глубинного строения подводного вулкана 8.10 выполнялся с использованием куба первой производной аномального магнитного поля  $\frac{\partial(\Delta T_a)}{\partial z}$ .

3D-диаграмма квазинамагниченности намагниченности  $J_{эф}$  показывает наличие одной положительной аномальной зоны, распространяющейся на глубину порядка 4 км, осложненной в верхней части (до 1 км) небольшими областями с повышенными магнитными свойствами (рис. 10). Магнитоактивная зона является вытянутой в направлении с запада на восток, ее ширина достигает 6 км, при этом в перпендикулярной плоскости сечение в среднем составляет только 1 км, достигая значений 2 км в центре. Возможно, что эта аномальная зона характеризует распространение магматического вещества.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования в очередной раз подтвердили эффективность применения используемой технологии интерпретации геолого-геофизических данных для изучения подводных вулканов КОД при обработке данных полученных при неравномерной сети профилей наблюдений.

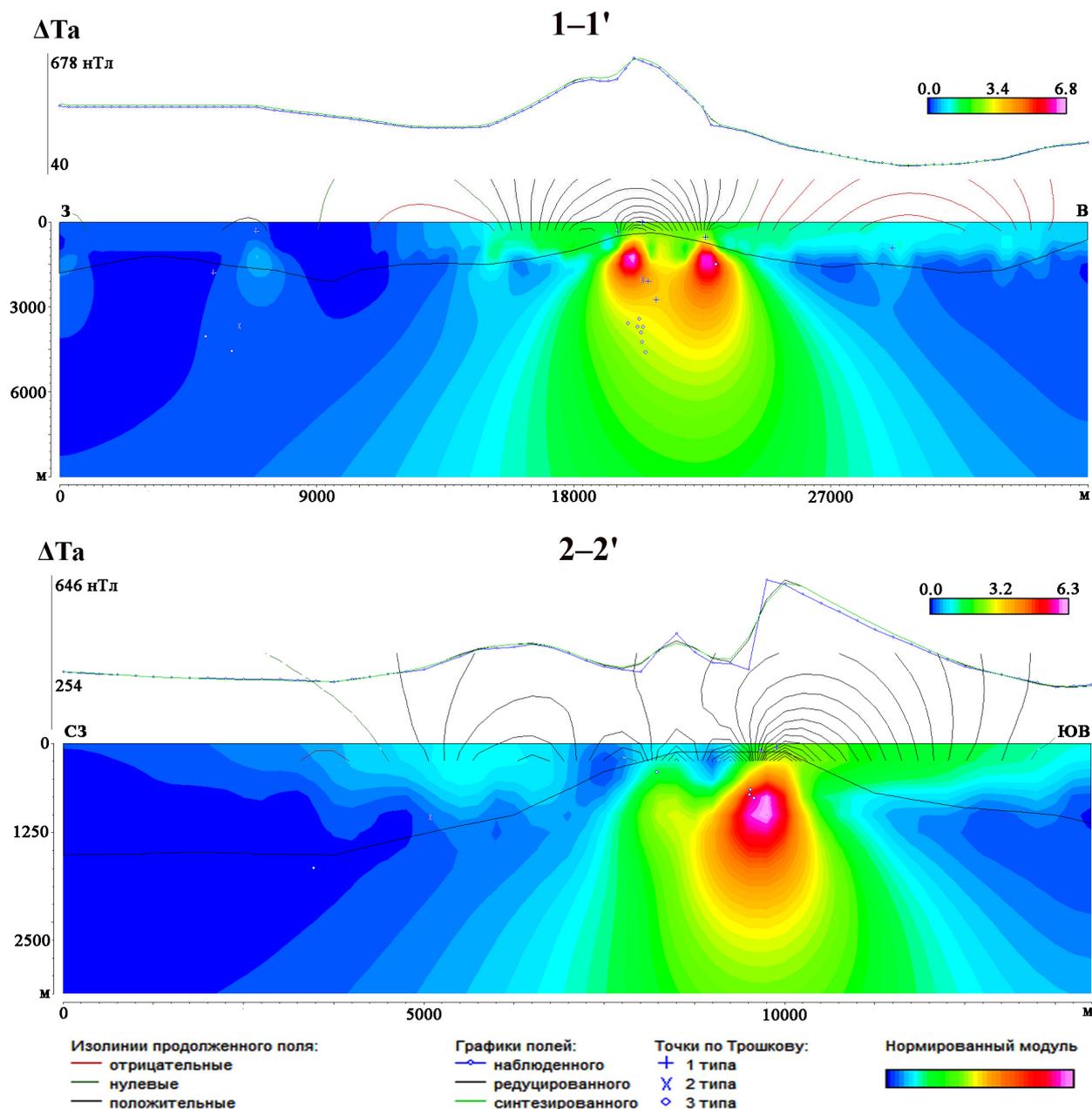
На основании полученных данных сделано предположение о том, что драгированные андезибазальты и андезиты являются представителями разных лавовых потоков, имеющих единый магматический источник, но различающихся по условиям и динамике кристаллизации.

Присутствие диорита среди драгированных образцов, вероятно, говорит о том, что вулканическая постройка помимо лавовых потоков включает в себе и дайковые (или силловые) тела или же здесь имеет место ледовый разнос.

При медленном продвижении магматической колонны условия минералообразования прерывисто менялись, а на предпоследнем этапе формирования вкрапленников наблюдалась высокая паро-газовая насыщенность расплава. Четкие очертания вкрапленников и резкая граница их с основной массой показывают, что последняя кристаллизовалась после или почти одновременно с последней относительно низкотемпературной альбитовой оторочкой плагиоклаза. Анальцитом и слюдястым минералом, а так же оторочки гидроксидов железа вокруг амфиболов и боулингита могли образоваться при температуре не выше 900°C, т.е. в приповерхностных зонах.

Установлено, что основным носителем естественной остаточной намагниченности андезибазальтов является титаномagnetит с низким содержанием Ti, а андезитов — магнетит. Рассчитанная величина эффективной намагниченности хорошо согласуется с данными петромагнитных исследований.

ПОДВОДНЫЙ ВУЛКАН 8.10



**Рис. 9.** Изображения, синтезированные системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающее аномальные магнитные поля  $\Delta T_a$  подводного вулкана 8.10, наложенные на рельеф дна. Местоположение профилей приведено на рис. 3а.

**Fig. 9.** Images synthesized by the SINGULAR system to localize the special points of the function describing the anomalous magnetic fields  $\Delta T_a$  of the submarine volcano 8.10 superimposed on the bottom topography. The location of the profiles is shown in Fig. 3a.

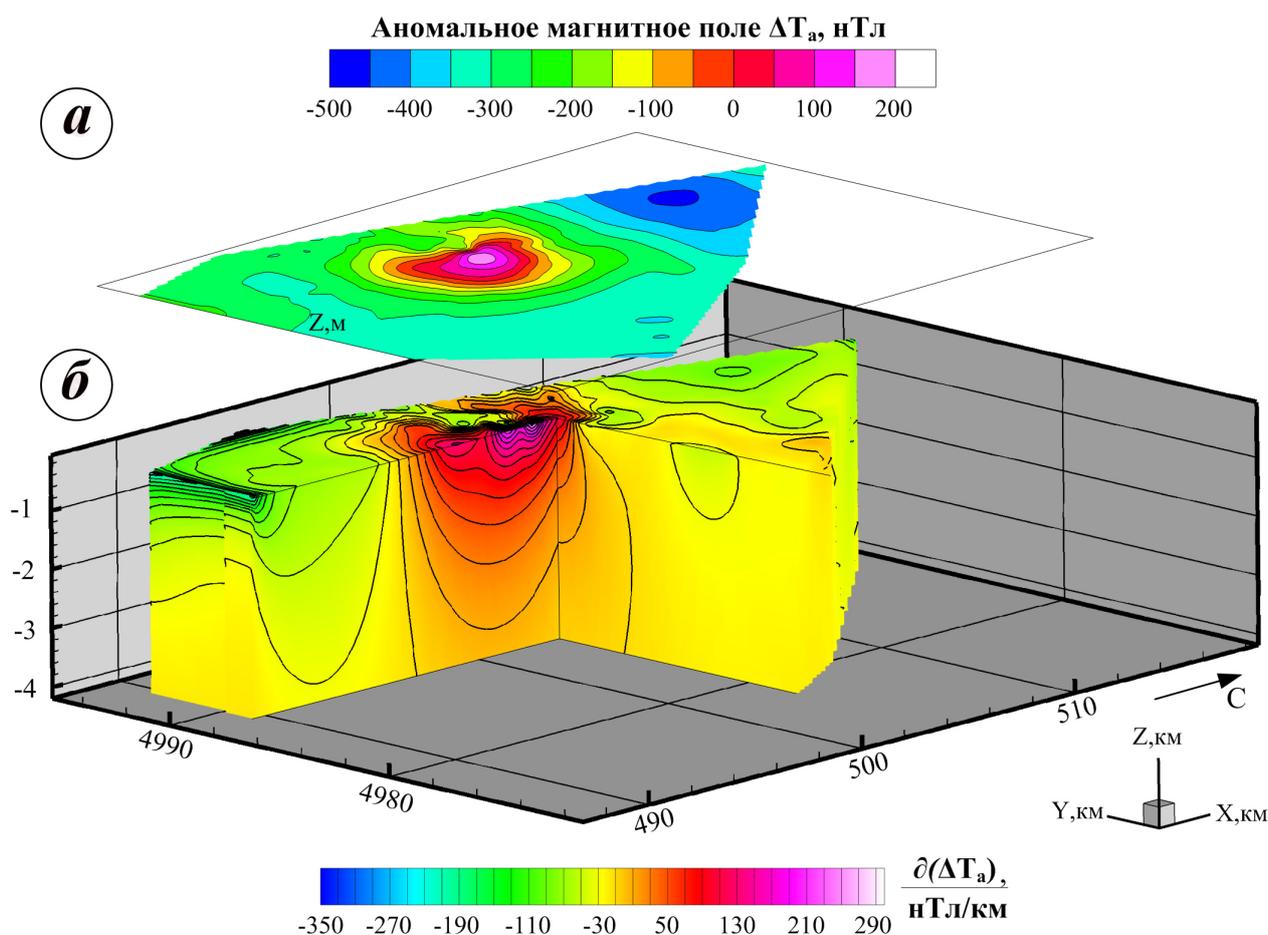
В вулканической постройке выделены подводящие каналы север-северо-западного направления и периферические магматические очаги на глубинах 2.4 км и 3.6 км.

Сделан вывод о том, что подводный вулкан 8.10, как и другие изученные вулканы КОД, образовался в период геомагнитных инверсий.

Наличие на вершине вулкана гидроакустических аномалий в очередной раз свидетельствует о том, что проявления подводной газо-гидротермальной деятельности в пределах

южной части КОД масштабнее, чем считалось до недавнего времени.

Работа выполнена по теме НИР № 0282-2019-0004 Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Петролого-минералогические исследования выполнены по теме НИР № 0135-2019-0050 «Геодинамика океанических бассейнов в мезо кайнозойской истории Земли и формирование с вязанных с ними полезных ископаемых» Геологического института РАН. Петромагнитные исследования выполнены



**Рис. 10.** Томографический анализ аномального магнитного поля подводного вулкана 8.10. Изолинии аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  (а), 3D-диаграмма, отражающая пространственное распределение квазинамагниченности горных пород, слагающих постройку подводного вулкана 8.10 (б).

**Fig. 10.** Tomographic analysis of the anomalous magnetic field of the submarine volcano 8.10. Isolines of anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  (a), 3D diagram reflecting the spatial distribution of quasi-magnetization of rocks composing the submarine volcano 8.10 (b).

в Центре коллективного пользования «Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм» Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН в рамках Государственного задания № FMWU-2022-0005. Томографическая интерпретация аномального магнитного поля осуществлена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от «29» декабря 2020 г. (рег. номер 122012000398-0).

#### Список литературы [References]

- Авдейко Г.П., Рашидов В.А. К 30-летию спуска на воду НИС «Вулканолог» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 1. Вып. 7. С. 7–9 [Avdeyko G.P., Rashidov V.A. To the 30th anniversary of the research vessel «Vulkanolog» launching // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemel. 2006. № 1(7). P. 7–9 (in Russian)].
- Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Возможности структурно-вещественного картирования по данным магниторазведки и гравиразведки в пакете программ СИГМА-3D // Геофизический

вестник. 2004. № 3 С. 11–15 [Babayants P.S., Blokh Yu.I., Trusov A.A. [Vozmozhnosti strukturno-veshchestvennogo kartirovaniya po dannym magnitorazvedki i gravirazvedki v pakete programm SIGMA-3D // Geofizicheskij vestnik. 2004. № 3. P. 11–15 (in Russian)].

Безруков П.Л., Зенкевич Н.Л., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б. Подводные горы и вулканы Курильской островной гряды // Тр. Лаборатории вулканологии. 1958. Вып. 13. С. 71–88 [Bezrukov P.L., Zenkevich N.L., Kanaev V.F., Udintsev G.B. Podvodnye gory i vulkany Kuril'skoj ostrovoj gryady // Tr. Laboratorii vulkanologii. 1958. Vyp. 13. P. 71–88 (in Russian)].

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Подводный вулканический массив Рикорда (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 26–42. <https://doi.org/10.1134/S0203030618040028> [Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal et al. The Rikord Submarine Volcanic Massif, Kuril Island Arc // Journal of Volcanology and Seismology. 2018. V. 12. № 4. P. 252–267. <https://doi.org/10.1134/S0742046318040024>].

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования

- подводного вулканического массива Архангельского (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 4. Вып. № 44. С. 35–50. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-4-44-35-50> [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Integrated geologic-geophysical investigation of the Archangelsky submarine volcanic massif (Kurile Island arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2019. № 4(44). P. 35–50 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования подводных вулканов Центральных и Южных Курил // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 47-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова. Воронеж, января – 30 января 2020 г. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2020а. С. 41–44 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Kompleksnyye geologo-geofizicheskie issledovaniya podvodnykh vulkanov Central'nykh i Yuzhnykh Kuril // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh polej: Materialy 47-j sessii Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru im. D.G. Uspenskogo – V.N. Strahova. Voronezh, yanvarya – 30 yanvarya 2020 g. Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskij centr «Nauchnaya kniga», 2020a. P. 41–44 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулканического массива Ратманова (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2020б. № 2. Вып. № 46. С. 55–71. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2020-2-46-55-71> [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Integrated geologic-geophysical investigation of the Ratmanov submarine volcanic massif (Kurile Island arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2020b. № 2(46). P. 55–71 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Новые данные о строении подводных вулканов Центральных и Южных Курил // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». 2020в. Том III (III). С. 482–485 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Novyye dannyye o stroenii podvodnykh vulkanov Central'nykh i Yuzhnykh Kuril. IX International conference «Marine Research and Education» MARESEDU-2020. 2020с. V. III (III). P. 482–485 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Вулканический массив Райкоке (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2021а. № 4. С. 61–80. <https://doi.org/10.31857/S0203030621030020> [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. The Raikoke Volcanic Massif, Kuril Island Arc // Journal of Volcanology and Seismology. 2021a. V. 15. № 4. P. 273–291. <https://doi.org/10.1134/S0742046321030027>].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулканического 7.10 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2021б. № 3. Вып. № 51. С. 23–40. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-3-51-23-40> [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Complex geological-geophysical studies of the underwater Volcano 7.10 (Kuril island arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2021b. № 3(51). P. 23–40 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Подводные вулканы Охотоморского склона острова Итуруп (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 48-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова. Санкт-Петербург (24 января – 28 января 2022 г. Санкт-Петербург): СПб Изд-во ВСЕГЕИ, 2022а. С. 31–34 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Podvodnyye vulkany Ohotomorskogo sklona ostrova Iturup (Kuril'skaya ostrovnaya duga) // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh polej: Materialy 48-j sessii Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru im. D.G. Uspenskogo – V.N. Strahova. Sankt-Peterburg (24 yanvarya – 28 yanvarya 2022 g. Sankt-Peterburg): SPb Izd-vo VSEGEI, 2022a. P. 31–34 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Подводные вулканы Южно-Итурупской группы // Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М.: ИО РАН, 2022б. С. 193–197 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Submarine Volcanoes of the South Iturup group (Kuril island arc) Geology of seas and oceans: Proceedings of XXIV International Conference on Marine Geology. V. IV. Moscow: IO RAS, 2022b. P. 193–197 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Каплун Д.В., Коняев О.Н. Возможности интерпретации потенциальных полей методами особых точек в интегрированной системе «СИНГУЛЯР» // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1993. № 6. С. 123–127 [Blokhu Yu.I., Kaplun D.V., Konyayev O.N. Vozmozhnosti interpretatsii potencial'nykh polej metodami osobyyh tochek v integrirovannoy sisteme «SINGULAR» // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geologiya i razvedka. 1993. № 6. P. 123–127 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Оценка остаточной намагниченности подводных вулканов Курильской островной дуги с применением программы ИГЛА // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 2. Вып. № 26. С. 5–10 [Blokhu Yu.I., Rashidov V.A., Trusov A.A. Estimation of remnant magnetization of the Kuril Island arc submarine volcanoes using software IGLA // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2015. № 2(26). P. 5–10 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Трусов А.А. Программа «IGLA» для интерактивной экспресс-интерпретации локальных гравитационных и магнитных аномалий // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 34-й сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского. М: ИФЗ РАН. 2007. С. 36–38 [Blokhu Yu.I., Trusov A.A. Programma «IGLA» // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh polej: materialy 34-j sessii mezhdunarodnogo seminaru im. D.G. Uspenskogo. M: IFZ RAN. 2007. S. 36–38 [Blokhu Yu.I., Trusov A.A. Programma «IGLA»

- dlya interaktivnoj ekspress-interpretacii lokal'nyh gravitacionnyh i magnitnyh anomalij // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoi interpretacii gravitacionnyh, magnitnyh i elektricheskikh polej: materialy 34-j sessii mezhdunarodnogo seminaro im. D.G.Uspenskogo. M: IFZ RAN. 2007. P. 36–38 (in Russian)].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Подводная газо-гидротермальная активность в пределах Курильской островной дуги // Геосистемы переходных зон. 2021. Т. 5. № 1. С. 4–13. <https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.1.004-013> [*Bondarenko V.I., Rashidov V.A.* Underwater gas-hydrothermal activity within the Kuril island arc // Geosystems of Transition Zones. 2021. V. 5. № 1. P. 4–13 (in Russian)].
- Воробьев В.М.* Магнитное поле как индикатор вещественного состава намагниченных пород (на примере подводных гор юго-востока Охотского моря) // Естественные геофизические поля дальневосточных окраинных морей. Владивосток, 1977. С. 57–63 [*Vorobiev V.M.* Magnitnoe pole kak indikator veshhestvennogo sostava namagnichenny'x porod (na primere podvodny'x gor yugo-vostoka Ohotskogo morya) // Estestvenny'e geofizicheskie polya dal'nevostochny'x okrainny'x morej. Vladivostok, 1977. P. 57–63 (in Russian)].
- Воробьев В.М., Кочерин Е.В., Красный М.Л.* Изученность района исследований магнитометрическими методами // Геоманитное поле окраинных морей северо-западной части Тихого океана. Южно-Сахалинск. 1975. Вып. 38. С. 11–16 [*Vorobiev V.M., Kocherin E.V., Krasny M.L.* Izuchennost' rajona issledovanij magnitometrisheskimi metodami // Geomagnitnoe pole okrainny'x morej severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana. Yuzhno-Saxalinsk. 1975. Vyp. 38. P. 11–16 (in Russian)].
- Деркачев А.Н., Тарарин И.А., Леликов Е.П. и др.* Проявления низкотемпературной гидротермальной деятельности в задуговом бассейне Охотского моря (Курильская глубоководная котловина) // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21. № 3. С. 14–26 [*Derkachev A.N., Tararin I.A., Lelikov Ye.P. et al.* Manifestation of low-temperature hydrothermal activity in the backarc basin, Okhotsk Sea (Kuril deep-sea basin) // Geology of the Pacific Ocean. 2002. V. 21. № 3. P. 14–26].
- Ерохов В.Ф., Кичина Е.Н., Остапенко В.Ф.* Петрохимические особенности лав подводных вулканов Курильских островов // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. 1975. Вып. 35. С. 21–26 [*Erokhov V.F., Kichina E.N., Ostapenko V.F.* Petrohimicheskie osobennosti lav podvodnyh vulkanov Kuril'skikh ostrovov // Trudy SahKNII DVNC AN SSSR. 1975. Vyp. 35. P. 21–26 (in Russian)].
- Затонский Л.К., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б.* Геоморфология подводной части Курило-Камчатской дуги // Океанологические исследования. 1961. № 3. С. 124–136 [*Zatonsky L.K., Kanaev V.F., Udintsev G.B.* Geomorfologiya podvodnoj chasti Kurilo-Kamchatskoj dugi // Journal of Oceanological Research. 1961. № 3. P. 124–136 (in Russian)].
- Кичина Е.Н., Неверов Ю.Л., Остапенко В.Ф.* Новые данные о подводных вулканах акватории острова Симушир (Курильские острова) // Геология дна северо-запада Тихого океана. Владивосток: САХКНИИ ДВО АН СССР, 1980. С. 61–66 [*Kichina E.N., Neverov Yu.L., Ostapenko V.F.* Novye dannye o podvodnyh vulkanah akvatorii ostrova Simushir (Kuril'skie ostrova) // Geologiya dna severo-zapada Tihogo okeana. Vladivostok: SAHKNIИ DVO AN SSSR, 1980. P. 61–66 (in Russian)].
- Кичина Е.Н., Остапенко В.Ф.* Щелочные базальты подводного вулкана Белянкина (Охотское море) // ДАН. 1977. Т. 232. № 1. С. 205–208 [*Kichina E.N., Ostapenko V.F.* Alkali-basalt of the Beliankin underwater volcano (the Sea Okhotsk). Doklady Earth Sciences. 1977. V. 232. № 1. P. 205–208 (in Russian)].
- Корнев О.С., Неверов Ю.Л., Остапенко В.Ф. и др.* Результаты геологического драгирования в Охотском море на НИС «Пегас» (21-й рейс) // Геологическое строение Охотоморского региона. Владивосток: СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 36–51 [*Kornev O.S., Neverov Yu.L., Ostapenko V.F. et al.* Rezul'taty geologicheskogo dragirovaniya v Ohotskom more na NIS «Pegas» (21-j rejs) // Geologicheskoe stroenie Ohotomorskogo regiona. Vladivostok: SahKNII DVNC AN SSSR, 1982. P. 36–51 (in Russian)].
- Мороз Т.Н., Пальчик Н.А., Григорьева Т.Н. и др.* Микроэлементы в нонтронитах из донных осадков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011. № 11. С. 54–59 [*Moroz T.N., Palchik N.A., Grigorieva T.N. et al.* Crystallization of Nontronites Under Different Natural Conditions // Journal of Surface Investigation. Xray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2011. № 11. С. 54–59 (in Russian)].
- Остапенко В.Ф.* Некоторые аспекты новейшей истории прикурильской части Охотского моря в свете изучения подводных вулканов этого региона // Вулканизм Курило-Камчатского региона и о. Сахалин. Южно-Сахалинск: Из-во ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 34–42 [*Ostapenko V.F.* Nekotorye aspekty novejshej istorii prikuril'skoj chasti Ohotskogo morya v svete izucheniya podvodnyh vulkanov etogo regiona // Vulkanizm Kurilo-Kamchatskogo regiona i o. Sahalin. Yuzhno-Saxalinsk: Iz-vo DVNC AN SSSR, 1976. P. 34–42 (in Russian)].
- Остапенко В.Ф.* Подводные вулканы прикурильской части Охотского моря, и их значение для понимания новейшей истории этого региона // ДАН СССР. 1978. Т. 242. № 1. С. 168–171 [*Ostapenko V.F.* Underwater volcanoes part of the Sae of Okhotsk and its significance to understanding of the latest history of the region. Doklady Earth Sciences. 1978. V. 242. № 1. P. 168–171 (in Russian)].
- Остапенко В.Ф., Вольнев В.М., Кичина Е.Н., Калинин А.И.* Подводный вулкан Крылатка (Охотское море) // Геологическое и геохимическое исследование Охотоморского региона и его обрамление. Владивосток, 1986. С. 18–24 [*Ostapenko V.F., Volnev V.M., Kichina E.N., Kalinin A.I.* Podvodnyj vulkan Krylatka (Ohotskoe more) // Geologicheskoe i geohimicheskoe issledovanie Ohotomorskogo regiona i ego obramlenie. Vladivostok, 1986. P. 18–24 (in Russian)].
- Остапенко В.Ф., Кичина Е.Н.* Вещественный состав лав подводных вулканов Курильской дуги // Геология дна Дальневосточных морей. Владивосток: Из-во ДВНЦ АН СССР. САКНИИ, 1977. С. 24–45 [*Ostapenko V.F., Kichina E.N.* Veshchestvennyj sostav lav podvodnyh vulkanov Kuril'skoj dugi // Geologiya dna Dal'nevostochnyh morej. Vladivostok: Iz-vo DVNC AN SSSR. SAKNIИ, 1977. С. 24–45 (in Russian)].

- sostav lav podvodnyh vulkanov Kuril'skoj dugi // Geologiya dna Dal'nevostochnykh morej. Vladivostok: Iz-vo DVNC AN SSSR. SAKNII, 1977. P. 24–45 (in Russian)].
- Остапенко В.Ф., Кичина Е.Н.* Латеральные вариации петрографического состава лав наземных и подводных вулканов Большой Курильской дуги // Рельеф и вулканизм Курильской островодужной системы. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 74–90 [*Ostapenko V.F., Kichina E.N.* Lateral'nye variacii petrograficheskogo sostava lav nazemnyh i podvodnyh vulkanov Bol'shoj Kuril'skoj dugi // Rel'ef i vulkanizm Kuril'skoj ostrovoduzhnoj sistemy. Vladivostok: Izd-vo DVNC AN SSSR, 1982. P. 74–90 (in Russian)].
- Пальчик Н.А., Григорьева Т.Н., Мороз Т.Н. и др.* Комплексное исследование марганцевых минералов донных осадков Охотского моря // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2009. Т. 6. № 4. С. 73–80 [*Palchik N.A., Grigorieva T.N., Moroz T.N. et al.* Kompleksnoe issledovanie margancevykh mineralov donnykh osadkov Ohotskogo morya // Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya. 2009. V. 6. № 4. P. 73–80 (in Russian)].
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. Ответственный редактор академик Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с. [Podvodnyj vulkanizm i zonal'nost' Kuril'skoj ostrovnoj dugi. Otvetstvennyj redaktor akademik YU.M. Pushcharovskij. M.: Nauka, 1992. 528 p. (in Russian)].
- Пузанков Ю.М., Волюнец О.Н., Авдейко Г.П. и др.* Геохимия микроэлементов в четвертичных вулканах Курильской гряды. Радиоактивные элементы // Геохимические ассоциации редких и радиоактивных элементов в рудных и магматических комплексах. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. С. 81–97 [*Puzankov Yu.M., Volynets O.N., Avdeyko G.P. et al.* Geohimiya mikroelementov v chetvertichnykh vulkanitakh Kuril'skoj gryady. Radioaktivnye elementy // Geohimicheskie associacii redkih i radioaktivnykh elementov v rudnykh i magmaticheskikh kompleksah. Novosibirsk: Nauka. Sib. otделение, 1991. P. 81–97 (in Russian)].
- Рашидов В.А.* Геомагнитные исследования подводных вулканов с борта НИС «Вулканолог» // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. 28–31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 289–300 [*Rashidov V.A.* Geomagnetnye issledovaniya podvodnyh vulkanov s borta NIS «Vulkanolog» // Materialy ezhegodnoj konferencii, posvyashchennoj Dnyu vulkanologa. 28–31 marta 2007 g. Petropavlovsk-Kamchatskij: IViS DVO RAN, 2007. P. 289–300 (in Russian)].
- Рашидов В.А., Бондаренко В.И.* Геофизические исследования подводного вулкана Крылатка (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 65–76 [*Rashidov V.A., Bondarenko V.I.* Geophysical studies of Krylatka submarine Volcano, Kuril islands // Journal of Volcanology and Seismology. 2004. № 4. P. 65–76 (in Russian)].
- Савостин Л.А., Баранов Б.В., Зоненшайн Л.П.* О возможной природе подводных гор Курильской глубоководной впадины Охотского моря // ДАН. 1978. Т. 242. № 3. С. 676–679 [*Savostin L.A., Baranov B.V., Zonenshain L.P.* On the possible nature of underwater mountains of the Kuril abyssal trough of the Sea of Okhotsk // Doklady Earth Sciences. 1978. V. 242. № 3. P. 676–679 (in Russian)].
- Тарарин И.А., Леликов Е.П., Итая Т.* Плейстоценовый подводный вулканизм восточной части Курильской котловины (Охотское море) // ДАН. 2000. Т. 371. С. 366–370 [*Tararin I.A., Lelikov E.P., Itaya T.* Pleistocene submarine volcanism in the Eastern Kuril basin, Sea of Okhotsk // Doklady Earth Sciences. 2000. V. 371 A. C. 494–498].
- Baranov B.V., Werner R., Hoernle K.A. et al.* Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) // Tectonophysics 2002. V. 350. P. 63–97.
- Gaedicke C., Baranov B.V., Obzhirov A.I. et al.* Seismic stratigraphy, BSR distribution and venting of methane rich fluids west off Paramushir and Onekotan Islands, northern Kurils // Marine Geology. 1997. V. 136. P. 259–276.
- Gnibidenko G.S.* The Sea of Okhotsk-Kurile Islands ridge and Kurile-Kamchatka trench // The ocean basins and margins. N.Y.; L.: Plenum press, 1985. V. 7A: The Pacific Ocean. P. 377–418.
- Gnibidenko G.S., Svarichevsky A.S.* Tectonics of the South Okhotsk Deep-Sea Basin // Tectonophysics. 1984. V. 102. P. 225–244.
- Savostin L., Sonenshain L., Baranov B.* Geology and tectonics plate of the Okhotsk Sea // Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian region / Ed. T.W.C. Hilde, S. Ueda. Geodynamics series. 1983. V. 11. P. 189–221.
- Yasui M., Hashimoto Y., Ueda S.* Geomagnetic and Bathymetric Study of the Okhotsk Sea-(1) // Oceanographical Magazine. 1967. V. 19. № 1. P. 75–85.
- Yasui M., Nagasaka K., Hashimoto Y., Anma K.* Geomagnetic and Bathymetric Study of the Okhotsk Sea-(2) // Oceanographical Magazine. 1968. V. 20. № 1. P. 65–72.

**SUBMARINE VOLCANO 8.10 (KURIL ISLAND ARC)**

**Yu.I. Blokh<sup>1</sup>, V.I. Bondarenko<sup>2</sup>, A.S. Dolgal<sup>3</sup>, P.N. Novikova<sup>3</sup>, V.V. Petrova<sup>4</sup>,  
O.V. Pilipenko<sup>5</sup>, V.A. Rashidov<sup>1</sup>, A.A. Trusov<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006*

<sup>2</sup>*Kostroma State University, Kostroma, Russia, 156961*

<sup>3</sup>*Mining Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia, 614007*

<sup>4</sup>*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 119017*

<sup>5</sup>*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 123242*

<sup>6</sup>*AO GNPP Aeroeofizika, Moscow, Russia, 125373*

Received June 02, 2022; revised August 20, 2022; accepted September 26, 2022

The submarine volcano 8.10, part of the South Iturup group of underwater volcanoes of the Kuril island arc (KIA), was studied using a proven technology of quantitative interpretation of hydromagnetic survey materials in combination with echo sounding, continuous seismoacoustic profiling, and analysis of petromagnetic properties and chemical composition of dredged rocks. The technology makes it possible to interpret directly from the original data without resorting to the procedure of their preliminary restoration in the nodes of a regular network. As a result of the performed studies, it was established that dredged andesite-basalts and andesites are representatives of different lava flows that have a single magmatic source, but differing in the conditions and dynamics of crystallization. The main carrier of the natural residual magnetization of basaltic andesites is titanomagnetite with low Ti content, and that for andesites is magnetite. In the volcanic edifice, supply channels and peripheral magma chambers are distinguished. The submarine Volcano 8.10, as well as the other KIA volcanoes studied, formed during geomagnetic inversions. The presence of hydroacoustic anomalies at the top of the volcano indicates that the manifestations of underwater gas-hydrothermal activity in the southern part of the KIA are more significant than was thought until recently.

*Keywords: submarine volcano 8.10, Kuril island arc, hydroacoustic anomalies.*